

Pengembangan Metode *Pretreatment* Melalui Proses Fisik dan Kimia untuk Optimasi Produksi Biogas dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Alternatif Energi Listrik – Biogas

Yudhiantono Atidhira, Adam Noviansyah, dan Fadlilatul Taufany

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: f_taufany@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Biogas merupakan produk akhir dari degradasi anaerobik oleh bakteri methanogen. Biogas memanfaatkan bahan-bahan yang renewable dan penggunaannya pun ramah lingkungan, contohnya limbah perairan yaitu eceng gondok. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang selama ini merugikan ternyata potensial untuk dijadikan biogas. Namun, lignin yang menjadi inhibitor menunjukkan perlu adanya proses *pretreatment* yang optimum agar biogas yang terbentuk lebih banyak dan lebih cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses *pretreatment* dengan metode fisik dan kimia. Metode-metodenya yaitu untuk mengetahui pengaruh suhu menggunakan alat oven, autoclave, dan hot water bath pada suhu 70-110°C, serta jenis asam organik yaitu asetat, oksalat, dan sitrat dengan kadar 5%, 10% dan 15% (w/w). Adapun parameter yang diukur yaitu kandungan lignoselulosa, COD, yield biogas serta hasil analisa kandungan metana biogas. Dari penelitian ini dihasilkan bahwa proses *pretreatment* terbaik dihasilkan oleh *pretreatment* menggunakan oven dengan suhu 100°C dan asam oksalat 15 % (w/w) selama 1 jam dengan kandungan hemiselulosa, selulosa, lignin dan COD yaitu 46.11%, 23.14%, 0.86% dan 31360 mg COD/L. Kemudian, kuantitas produksi biogas yang dihasilkan oleh eceng gondok dengan proses *pretreatment* (kombinasi oven dengan suhu 100°C serta asam oksalat 15% (w/w) selama 1 jam) lebih tinggi yaitu 375.68 L/kg VS daripada produksi biogas oleh eceng gondok tanpa proses *pretreatment* yaitu 368.654 L/kg VS. Dengan produksi gas tersebut, dapat dihasilkan listrik dengan beban maksimum pada load 300-Watt dan efisiensi optimum sebesar 10.64% menggunakan gas generator 600-Watt.

Kata Kunci—Biogas, Eceng Gondok, Hidrolisis, Listrik, *Pretreatment*

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN energi dunia terutama yang bersumber pada bahan bakar fosil di dunia semakin meningkat seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Namun kenyataannya, kebutuhan energi yang ada berbanding terbalik dengan cadangan energi fosil di dunia sehingga dibutuhkan suatu energi alternatif dari masalah tersebut. Biogas merupakan salah satu penyelesaian masalah energi yang saat ini sedang hangat untuk dikembangkan sebagai energi

alternatif yang ramah lingkungan. Biogas dapat dibuat dari berbagai macam limbah organik melalui proses penguraian secara anaerobik. Terdapat berbagai macam bahan baku pembuatan biogas, seperti limbah peternakan berupa kotoran ternak, limbah pertanian yang berupa jerami, sampah organik dari sisa rumah tangga dan pasar, dan limbah perairan yang berupa eceng gondok.

Seperti yang diketahui, eceng gondok merupakan jenis gulma yang pertumbuhannya sangat cepat, yaitu dapat mencapai 1.9% per hari dengan tinggi antara 0.3-0.5 m. Pertumbuhannya yang begitu pesat, dirasa sangat merugikan karena sifatnya yang menutupi permukaan air sehingga kandungan oksigen di dalam air berkurang. Disamping efek negatif dari tanaman eceng gondok, tanaman ini memiliki nilai ekonomis yang dapat dimanfaatkan, yaitu dapat memproduksi gas metana dengan metode *anaerobic digestion*. Eceng gondok dapat dimanfaatkan dalam produksi biogas karena memiliki kandungan hemiselulosa yang cukup besar dibandingkan komponen organik zat tunggal lainnya. Eceng Gondok mempunyai kandungan hemiselulosa 48.7%, selulosa 18.2%, dan lignin 3.5% [1] serta mempunyai struktur jaringan yang berongga, sehingga tanaman ini mempunyai energi yang tinggi, terdiri dari bahan yang dapat difermentasikan dan berpotensi sangat besar dalam menghasilkan biogas.

Dari penelitian sebelumnya, jika biogas dihasilkan dengan bahan baku jerami, biogas tersebut dapat ditingkatkan kuantitas nya dengan melakukan *pretreatment* secara proses kimia-fisika yaitu dengan penambahan asam asetat 5% lalu dipanaskan hingga 135°C. Dengan proses tersebut dihasilkan yield biogas sebanyak 7 kali lebih banyak dibanding tanpa proses *pretreatment* [2]. Selain itu, eceng gondok dapat ditingkatkan kandungan selulosa nya dengan ditreatment menggunakan NaOH 2 M selama 30 menit. Namun, penelitian-*pretreatment* menggunakan NaOH ini dirasa kurang ekonomis karena harga NaOH 2 M yang cukup mahal, membutuhkan suhu yang relatif tinggi yaitu 100-126oC serta tidak ramah lingkungan jika diaplikasikan dalam produksi biogas skala

besar. Selain itu, dalam penelitian *pretreatment* dengan asam asetat jika diaplikasikan ke eceng gondok, maka membutuhkan 4 liter asam asetat untuk 1 kg biomassa, sehingga tidak efisien dalam prosesnya yang membutuhkan space yang cukup besar.

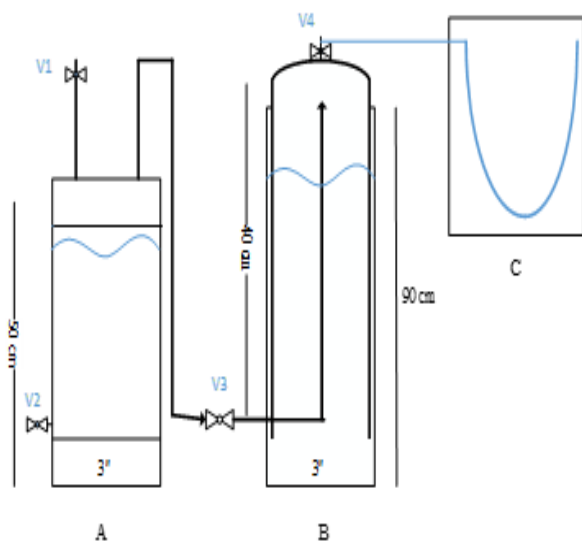
Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan usaha untuk meningkatkan produksi biogas dari eceng gondok dengan proses *pretreatment* penghilangan lignin secara fisik dan kimia yang efektif, efisien dan ramah lingkungan agar proses fermentasi eceng gondok bisa optimal.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kotoran sapi, NaOH teknis, air, urea, asam asetat teknis, asam oksalat teknis, dan asam sitrat teknis.

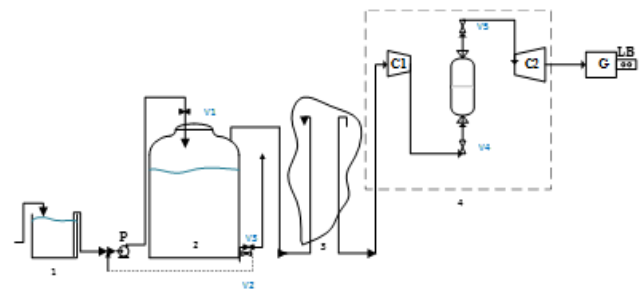
Sedangkan untuk alat yang digunakan adalah mesin pencacah (*blender*), neraca analitik, *oven*, *hot water bath*, *autoclave*, *beaker glass* 1 liter, gelas ukur, reaktor biogas skala kecil (4 liter) dan reaktor biogas skala besar (300 liter). Skema rangkaian alat berupa reaktor biogas skala kecil dan besar ditunjukkan oleh Gambar 1 dan Gambar 2 berikut.



Keterangan :

- A = Reaktor Anaerobik Digester
- B = Gas Holder
- C = Manometer
- V1 = Saluran umpan masuk (*feed in*)
- V2 = Drain Valve
- V3 = Valve antara Gas Holder dan Reaktor
- V4 = Gas Holder Valve

Gambar 1. Skema reaktor biogas skala kecil (4 liter)



Keterangan :

- 1 = Tanki penyiapan *feed*(umpan)
- 2 = Profil Tank 300L sebagai *anaerobic digester*
- 3 = Plastik HDPE ukuran 1.5x2 m² sebagai *gas holder*
- 4 = *Compressor*
- G = Gas Generator
- P = Pompa untuk memasukkan *feed* dan sirkulasi
- LB = Load bank test (25-1000 Watt)
- V1 = Valve *Feed* (umpan masuk)
- V2 = Drain Valve dan Sirkulasi
- V3 = Valve overflow
- V4 = Safety valve *compressor*
- V5 = Regulator valve keluaran *compressor*
- C1 = Proses Kompresi
- C2 = Proses Ekspansi

Gambar 2. Skema reaktor biogas skala besar (300 liter)

B. Kondisi Penelitian

Eceng gondok yang digunakan ialah eceng gondok yang berasal dari Kali ITS dan kemudian dicacah menggunakan mesin pencacah (*blender*) selama 30 detik sehingga ukurannya menjadi 1-2 mm. Sedangkan sampel yang digunakan untuk pengujian ialah campuran antara eceng gondok dan air dengan perbandingan 1:4. Massa eceng gondok yang digunakan ialah 25 gram per sampel dengan waktu *pretreatment* selama 1 jam. *Anaerobic digester* yang digunakan berada dalam tekanan 760 mmHg (atmosferik) dengan suhu 28-32°C.

C. Variabel

Variabel penelitian yang digunakan terdiri dari 3 jenis variabel, meliputi variabel *independent*, variabel *dependent*, dan variabel tetap. Variabel *independent* yakni meliputi suhu *pretreatment oven*, dan *autoclave* yaitu 90, 100, 110 °C serta *hot water bath* yaitu 70, 80, 90°C. Kemudian jenis asam yang digunakan pada proses *pretreatment* yaitu asam asetat, asam oksalat dan asam sitrat (teknis) dengan konsentrasi sebesar 5%, 10%, dan 15% (%berat). Untuk variabel *dependent* yang digunakan yakni kandungan lignoselulosa sebelum dan sesudah *pretreatment*, COD substrat sebelum dan sesudah *pretreatment*, serta *yield* biogas. Variabel tetap yang digunakan pada penelitian ini berupa volume *feed* Eceng Gondok kontrol dan *pretreatment* sebanyak 117 ml yang diencerkan hingga 285 ml.

D. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari proses *pretreatment* eceng gondok, persiapan *feed*, pembentukan biogas dalam *anaerobic digester*, dan tahap generasi listrik.

1) Pretreatment Eceng Gondok

Pada tahap ini eceng gondok akan melalui proses *pretreatment* dengan cara fisik, kimia dan fisik-kimia. *Physical pretreatment* dilakukan dengan variabel suhu pada alat *oven*, *autoclave*, dan *hot water bath*. Sedangkan *Chemical pretreatment* dengan menambahkan asam organik dengan rasio yang telah ditentukan. Serta *physio-chemical pretreatment* dengan menggabungkan kedua metode *pretreatment* dengan fisik dan kimia. Langkah-langkah dalam *pretreatment* dimulai dengan pengancuran eceng gondok dengan menggunakan mesin pencacah (*blender*) selama 30 detik dengan kecepatan 1 di *blender*. Kemudian masing-masing sampel dimasukkan kedalam *oven/autoclave/hot water bath* dengan variabel suhu yang telah ditentukan selama 1 jam. Uji sampel dapat dilakukan setelah melalui kedua proses ini. Langkah selanjutnya yakni melakukan kombinasi asam organik dan suhu. Eceng gondok dihancurkan dengan menggunakan mesin pencacah (*blender*) selama 30 detik. Dari hasil variabel suhu yang terbaik dari masing-masing alat, sampel ditambahkan asam organik konsentrasi 5, 10, dan 15% (% w/w) dengan rasio eceng gondok dengan asam organik yaitu 1:1 (% w/w) kemudian dipanaskan selama satu jam.

2) Persiapan Feed

Pada tahap ini digunakan *feed* eceng gondok dengan *Load* umpan masuk (*feed in*) variabel kontrol = 1,43 kg COD/m³ hari (285 mL). *Load* umpan masuk (*feed in*) variabel *pretreatment* = 1,83 kg COD/m³.hari (285 mL) dan dengan HRT (Hydraulic Retention Time) keduanya 7 hari. Sebelumnya, *feed* di *pretreatment* dengan metode *pretreatment* yang paling efektif agar nantinya dapat diketahui hasil *yield* biogas dari proses *anaerobic digestion*. *Feed* (umpan) eceng gondok yang telah dikumpulkan dalam tangki penampung & pengencer, kemudian dilakukan proses *pretreatment* dan dinetralisasi hingga pH 6-7.

3) Pembentukan Biogas dalam Anaerobic Digester

Bubur eceng gondok sebagai substrat dari tangki penampung pengencer, *pretreatment* dan netralisasi, dipompa menuju reaktor *anaerobic digester* yang bertipe *batch*. Substrat ini yang akan di fermentasi oleh mikroorganisme yang diumpankan dari penampung *starter*. Hasil fermentasi ini adalah biogas sebagai produk atas dengan kandungan utamanya CH₄ dan CO₂. Sedangkan produk bawah berupa *slurry* ditampung untuk dipisahkan antara *cake* dan filtratnya, dimana produk cair filtrat-nya bisa digunakan kembali ke tangki *anaerobic digester*.

4) Tahap Generasi Listrik

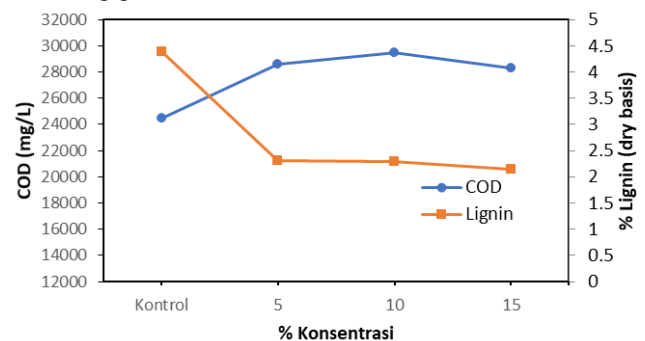
Pada tahap ini biogas yang sudah terbentuk dikompres untuk ditampung pada tabung *compressor* hingga pressure 5-7,5 bar. Kemudian dialirkan menuju generator gas pada tekanan keluaran 1 bar. Setelah itu, diukur waktu untuk masing-masing beban yang digunakan pada *load bank* yaitu

berkisar antara 25-800 Watt. Hasil dari pengujian generasi listrik ini didapatkan nilai efisiensi pada masing-masing beban hingga beban maksimal.

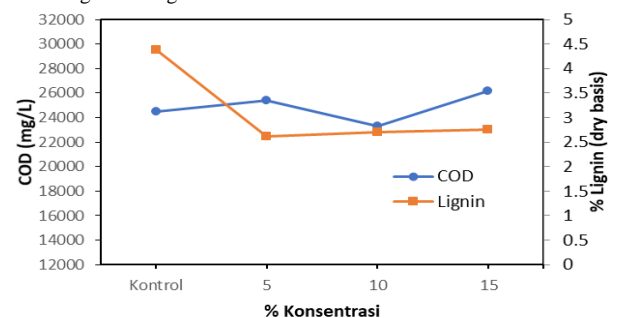
III. HASIL DAN ANALISIS

A. Pretreatment Feed Eceng Gondok

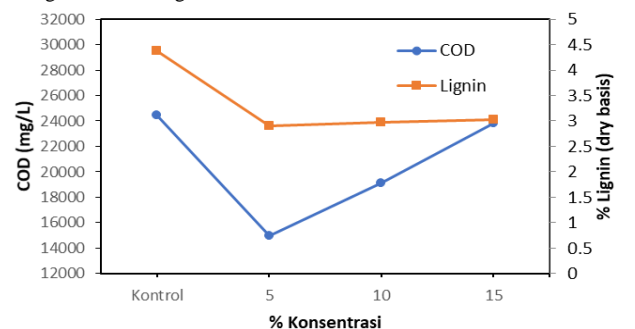
Dalam uji *pretreatment* eceng gondok ini, eceng gondok harus dipotong-potong terlebih dahulu dan direduksi lagi ukuran nya. Hal ini bertujuan agar nantinya substrat yang akan dijadikan biogas dapat dikonversi lebih maksimal. Eceng gondok ini nantinya akan di reduksi ukurannya dengan menggunakan *blender* selama 30 detik dengan campuran air 4:1 untuk memudahkan dalam prosesnya. Setelah itu, eceng gondok melalui proses *pretreatment* dengan menggunakan alat *oven*, *autoclave* dan *hot water bath* dengan variabel suhu masing-masing. Gambar 3 hingga Gambar 5 berikut menunjukkan pengaruh alat dan suhu terhadap kandungan COD eceng gondok.



Gambar 3. Pengaruh Pretreatment Menggunakan Oven terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok

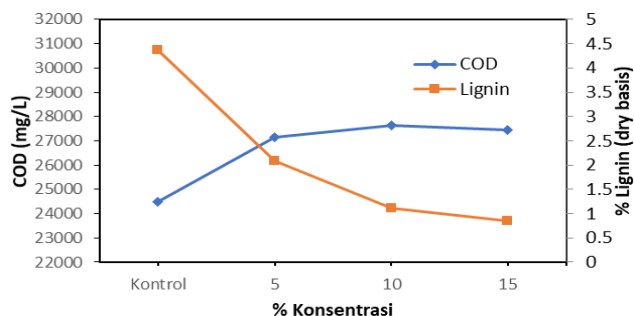


Gambar 4. Pengaruh Pretreatment Menggunakan Hot Water Bath terhadap Kandungan COD Eceng Gondok

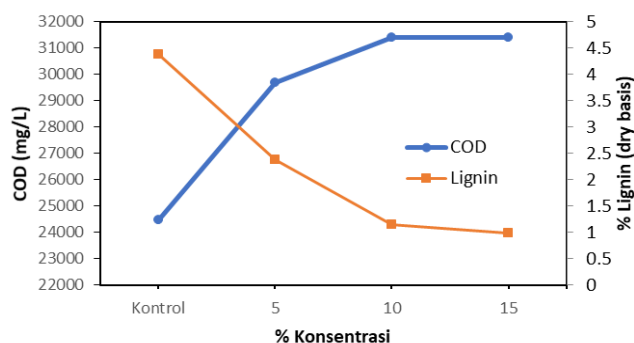


Gambar 5. Pengaruh Pretreatment Menggunakan Autoclave terhadap Kandungan COD Eceng Gondok

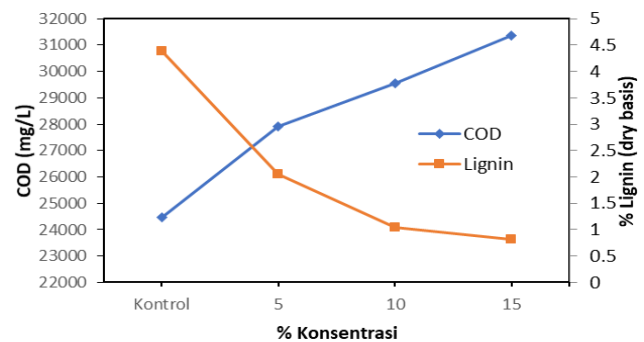
Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa *heat pretreatment* menggunakan *oven* dapat menaikkan kadar COD pada eceng gondok. Kadar COD meningkat hingga 29500 mg COD/L pada suhu 100°C, namun turun pada suhu 110°C menjadi 28300 mg COD/L. Penurunan kadar COD pada suhu tinggi ini disebabkan oleh hilangnya kadar *Volatile Fatty Acids* (VFA) akibat penguapan. Penguapan akan menyebabkan ikatan kimia pada dinding sel terganggu sehingga melepaskan komponen organik (VFA). Selanjutnya, Gambar 4 menunjukkan *heat pretreatment* menggunakan *hot water bath* tidak memiliki efek yang signifikan terhadap kandungan COD eceng gondok. Kadar COD tertinggi terdapat pada suhu 90°C yaitu 26200 mg COD/L. Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa *heat pretreatment* dengan menggunakan autoclave justru akan membuat kadar COD menurun. Pada suhu 100°C, kadar COD dengan metode ini turun jauh menjadi 15000 mg COD/L, lalu seiring dengan kenaikan suhu, kadar COD menjadi meningkat namun tidak lebih tinggi dengan kadar COD kontrolnya. Hal ini disebabkan penguapan yang mengakibatkan hilangnya komponen organik seperti VFA. Dari penjelasan tersebut dipilih lah metode terbaik *heat pretreatment* yaitu dengan menggunakan *oven* 100°C. *Oven* yang memiliki prinsip kerja konduksi dan konveksi dengan media air ini terbukti dapat melarutkan lignin lebih efektif dibandingkan metode *pretreatment* yang lain [3]. *Heat pretreatment* ini dapat menurunkan kadar lignin hampir 50% nya yaitu dari 4.38% hingga 2.29% lalu kadar COD pun meningkat dari 24480 mg COD/L menjadi 29500 mg COD/L. Gambar 6 hingga Gambar 8 menunjukkan pengaruh *pretreatment oven* 100°C dan asam organik terhadap kadar COD eceng gondok.



Gambar 6. Pengaruh *Pretreatment Oven* 100°C dan Asam Asetat terhadap Kandungan COD Eceng Gondok



Gambar 7. Pengaruh *Pretreatment Oven* 100°C dan Asam Sitrat terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok

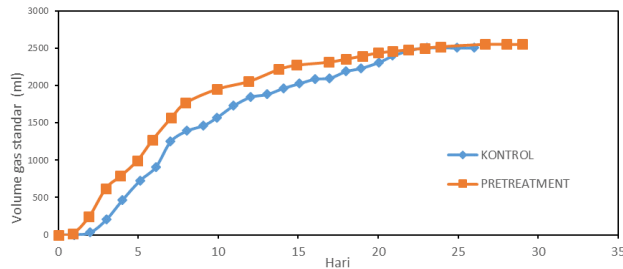


Gambar 8. Pengaruh *Pretreatment Oven* 100°C dan Asam Oksalat terhadap Kandungan COD Eceng Gondok

Gambar 6 hingga Gambar 8 di atas menunjukkan *pretreatment oven* 100°C dengan asam organik dapat menaikkan kadar COD pada eceng gondok. Selain itu, seiring dengan kenaikan konsentrasi asam maka kandungan COD juga meningkat. Jika dibandingkan dengan eceng gondok yang hanya di *heat pretreatment* terlihat bahwa kandungan COD dengan metode *pretreatment* kombinasi memiliki kandungan lebih tinggi. Hal ini dikarenakan adanya tambahan asam organik yang berfungsi agar reaksi hidrolisis yang ada pada eceng gondok lebih efektif. Jika dibandingkan pada semua Grafik, kandungan COD tertinggi berada pada kondisi *pretreatment* kombinasi dengan asam sitrat 15% yaitu 31390 mg COD/L. Dari berbagai macam pertimbangan seperti kandungan lignoselulosa dan COD dipilihlah *pretreatment* kombinasi dengan asam oksalat 15% sebagai metode *pretreatment* yang terbaik. Dibanding dengan asam lainnya, asam oksalat dapat menurunkan kandungan lignin lebih besar yaitu menjadi 0.86%. Selain itu, kandungan selulosa nya paling tinggi dibanding hasil *pretreatment* lainnya yaitu sebesar 46.11% walaupun kandungan hemiselulosa dan kadar COD nya hanya berbeda sedikit dibanding metode *pretreatment* asam asetat 15% dan asam sitrat 15%. Amnuaycheewa (2016) juga menyebutkan bahwa *pretreatment* pada jerami dengan menggunakan asam oksalat memiliki sugar yield lebih tinggi serta kandungan lignin lebih rendah dibandingkan asam organik lainnya. Lalu, Mtui (2012) menyebutkan bahwa asam oksalat juga sangat bagus untuk *pretreatment* biomassa untuk meningkatkan efisiensi proses sakarifikasi khususnya dalam memproduksi ethanol. Asam Oksalat merupakan asam yang dapat meningkatkan digestibilitas selulosa dibandingkan asam asetat dan sitrat karena asam oksalat dapat membentuk gula (xylosa dan glukosa) yang tinggi. Selain itu pembentukan furfural yang merupakan inhibitor dari fermentasi sangat rendah. Proses Produksi Biogas pada Reaktor skala Kecil

Feed eceng gondok kontrol serta *feed* eceng gondok dengan *pretreatment* terbaik kemudian dipersiapkan untuk dimasukkan ke dalam reaktor biogas skala kecil untuk diamati kumulatif gas yang dihasilkan. Sebelum itu, larutan *starter* yang sudah difermentasikan dimasukkan terlebih dahulu ke dalam reaktor skala kecil. Larutan *starter* ini berfungsi sebagai

mikroorganisme yang akan mengonversi substrat (feed eceng gondok) menjadi biogas. Pada pembuatan biogas skala kecil ini digunakan *load digester* sebesar 1,43 kg COD/m³ untuk variabel kontrol dan 1,83 kg COD/m³ untuk variabel *pretreatment* dengan HRT 7 hari. Berikut merupakan data kumulatif gas yang dihasilkan.



Gambar 9. Grafik Kumulatif Biogas dengan Feed Eceng Gondok

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9 didapatkan kumulatif biogas yang dihasilkan oleh variabel kontrol yaitu 2506 ml, serta untuk variabel *pretreatment* didapatkan biogas sebanyak 2553 ml.

B. Proses Generasi Listrik

Pada tahap ini dilakukan *load bank test* dengan tujuan untuk mengetahui beban optimal yang dapat menghasilkan efisiensi maksimum generasi listrik. Untuk itu, biogas yang telah dihasilkan diuji dengan gas metana sebagai pembanding. Generator yang digunakan memiliki spesifikasi 1200 Watt. Pada gas metana, beban maksimal dicapai pada beban 700 W sedangkan biogas dicapai pada 150 W. *Load* optimal (efisiensi tertinggi) dicapai pada 150 W untuk biogas yaitu 3.37% dan 700 W untuk metana murni yaitu 11.61%. Efisiensi yang dihasilkan dari biogas masih cukup rendah, terlebih beban maksimal yang dapat dicapai pun juga masih sangat rendah

dibanding metana murni. Untuk itu dilakukan pengujian beban dengan generator listrik dengan spesifikasi 600 Watt. Dengan generator 600 Watt in beban maksimal dapat mencapai 300 Watt dengan efisiensi 10,64%. *Load* optimal yang dihasilkan biogas masih cukup jauh dibandingkan dengan metana murni, hal itu menunjukkan bahwa purifikasi gas dibutuhkan agar generasi listrik yang dihasilkan bisa lebih maksimal.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Proses *pretreatment* yang optimal didapatkan dengan kombinasi pemanasan *oven* pada suhu 100°C selama 1 jam dengan penambahan asam oksalat 15%. Didapatkan kumulatif biogas kontrol 2506 ml dan *pretreatment* 2553 ml. Serta didapatkan *yield* (m³/kg COD removal) masing-masing variabel yaitu 0,401 m³/kg COD, dan 0,3 m³/kgCOD untuk kontrol dan *pretreatment*.
2. Efisiensi listrik optimum yang dihasilkan oleh biogas yaitu 10,64% pada *load* 300-Watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. . Nigam, "Bioconversion of water-hyacinth (Eichhornia crassipes) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose-fermenting yeast," *J. Biotechnol.*, pp. 107–116, 2002.
- [2] et al Amnuaycheewa, P., R. Hengaroonprasan., K. Rattanaporn, "Enhancing enzymatic hydrolysis and biogas production from ricestraw by pretreatment with organic," *Ind. Crops Prod.*, pp. 247–254, 2016.
- [3] A. S. K. Barua, Visva Bharati., "Effect of various types of thermal pretreatment techniques on the hydrolysis, compositional analysis and characterization of water hyacinth," *Bioresour. Technol.*, pp. 147–154, 2017.